



SKRIPSI – ME141501

KAJIAN TEKNIS PEMILIHAN GENERATOR BERTEGANGAN
MENENGAH TERHADAP PERUBAHAN KAPAL TUGBOAT
MENJADI *UTILITY/SUPPLY VESSEL* MENGGUNAKAN ANALISA
LOAD FLOW DAN *SHORT CIRCUIT*

Denny Pramana Putra
NRP. 4213 100 031

Dosen Pembimbing 1
Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.

Dosen Pembimbing 2
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME141501

*TECHNICAL STUDY SELECTION OF MEDIUM VOLTAGE
GENERATOR DUE TO CHANGE FUNCTION FROM TUGBOAT TO
UTILITY/SUPPLY VESSEL USING LOAD FLOW AND SHORT CIRCUIT
ANALYSIS*

Denny Pramana Putra
NRP. 4213 100 031

Supervisor 1
Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.

Supervisor 2
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc.

*DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN TEKNIS PEMILIHAN GENERATOR BERTEGANGAN MENENGAH TERHADAP PERUBAHAN KAPAL TUGBOAT MENJADI *UTILITY/SUPPLY VESSEL* MENGGUNAKAN ANALISA *LOAD FLOW* DAN *SHORT CIRCUIT*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DENNY PRAMANA PUTRA

NRP : 4213100031

Disetujui oleh Dosen Pembimbing 1 & 2 Tugas Akhir :

Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.
NIP: 1979 0327 2003 12 1001

()

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc.
NIP: 1968 0701 1995 12 1001

()

SURABAYA
JULI, 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN TEKNIS PEMILIHAN GENERATOR BERTEGANGAN
MENENGAH TERHADAP PERUBAHAN KAPAL TUGBOAT MENJADI
UTILITY/SUPPLY VESSEL MENGGUNAKAN ANALISA *LOAD FLOW* DAN
SHORT CIRCUIT

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DENNY PRAMANA PUTRA

NRP : 4213100031

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.

NIP: 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA

JULI, 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Kajian Teknis Pemilihan Generator Bertegangan Menengah Terhadap Kapasitas Muatan Kapal dan Pemilihan Sistem Proteksinya”.

Penulisan tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam menyelesaikan skripsi ini berdasarkan kepada dasar teori yang diperoleh dalam perkuliahan studi literature dan dosen pembimbing yang terus memberikan masukan serta pihak – pihak lain yang terlibat. Banyak pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang senantiasa yang senantiasa memberikan dukungan moral dan materil kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng M. Badruz Zaman, S.T, M.T sebagai kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc. yang terus memberikan saran dan masukan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Teman-teman member Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal yang telah banyak membantu untuk memberikan saran dan masukan guna peyelesaian tugas akhir ini.
5. Ninik Rini Haryani untuk selalu mensupport penulis pada saat menyelesaikan tugas akhir.
6. Teman-teman warung kopi ANJ yang senantiasa menemani setiap malam untuk berdiskusi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam melakukan penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kelancaran dan perbaikan dalam pengerjaan tugas akhir kedepannya.

Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KAJIAN TEKNIS PEMILIHAN GENERATOR BERTEGANGAN MENENGAH TERHADAP PERUBAHAN KAPAL TUGBOAT MENJADI *UTILITY/SUPPLY VESSEL* MENGGUNAKAN ANALISA *LOAD FLOW* DAN *SHORT CIRCUIT*

Nama Mahasiswa : Denny Pramana Putra
NRP : 4213100031
Jurusan : Departemen Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.
: 2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc.

ABSTRAK

Kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi selalu membutuhkan suplai berkala untuk melayani berbagai macam kebutuhan ke *offshore platform*, antara lain makanan, air bersih, bahan bakar, dan peralatan untuk keperluan pengeboran. Kapal jenis *utility/supply vessel* yang dapat memberikan kebutuhan itu semua. Generator bertegangan rendah digunakan untuk menyuplai daya yang dibutuhkan kapal tersebut. Karena daya yang dibutuhkan oleh peralatan kapal besar, maka arus yang dihasilkan akan besar. Pembahasan dari penelitian ini di titik beratkan pada penggantian generator bertegangan rendah menjadi generator bertegangan menengah menggunakan analisis *load flow* dan *short circuit*. Pada simulasi *load flow analysis* didapatkan nilai arus dan daya yang nanti akan di jadikan perbandingan. Dari penelitian ini pada *main bus* didapatkan nilai arus generator bertegangan rendah sebesar 920 Ampere dan pada generator bertegangan menengah sebesar 73,7 Ampere. Untuk daya pada *main bus* yang dihasilkan oleh generator bertegangan rendah sebesar 707 kW dan pada generator bertegangan menengah sebesar 739 kW. *Short circuit analysis* menghasilkan arus hubungan singkat saat kondisi berlayar pada generator bertegangan rendah sebesar 35,9 kA dan pada generator bertegangan menengah sebesar 2,5 kA di *main bus*. Saat kondisi *manouvering* pada *main bus* generator bertegangan rendah menghasilkan arus hubungan singkat sebesar 35,9 dan pada generator bertegangan menengah sebesar 2,5 kA. Kondisi Bongkar muat pada *main bus* generator bertegangan rendah menghasilkan nilai arus hubungan singkat sebesar 36 kA dan pada generator bertegangan menengah sebesar 2,5 kA.

Kata Kunci : *Generator Tegangan Menengah, Utility/Supply Vessel, Load Flow & Short Circuit Analysis*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TECHNICAL STUDY SELECTION OF MEDIUM VOLTAGE GENERATOR DUE TO CHANGE FUNCTION FROM TUGBOAT TO UTILITY/SUPPLY VESSEL USING LOAD FLOW AND SHORT CIRCUIT ANALYSIS

Name : Denny Pramana Putra
NRP : 4213100031
Departemen : Departemen Of Marine Engineering
Supervisor : 1. Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc.
: 2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc.

ABSTRACT

Oil and gas exploration and production activities always require periodic supplies to serve a wide range of needs to offshore platforms, including food, clean water, fuel, and equipment for the exertion purposes. The ship type which can provide all the needs is the utility/supply vessel. A low-voltage generator is used to supply the required power of the vessel. Due the large amount of power that the ship equipment needed, the current result will be large as well. The discussion of this research is emphasized on the replacement of low-voltage generators into medium-voltage generators using load flow analysis and short circuit. In the simulation of load flow analysis obtained the value of current and power which will be used as a comparison. From this research, on main bus obtained that the current value of low-voltage generator is equal to 920 Ampere and at medium-voltage generator is equal to 73,7 Ampere, while for the power on main bus obtained by the low-voltage generator is equal to 707 kW and on the medium-voltage generator is equal to 739 kW. Based on short circuit analysis, a short-circuit current when sailing with low-voltage generators is equal to 35.9 kA while with medium-voltage generator is equal to 2.5 kA at the main bus. When maneuvering, at the main bus on the low-voltage generator produce short-circuit current of 35.9 and in the medium-voltage generator of 2.5 kA. The loading and unloading at the main bus on the low-voltage generator resulted in a short-circuit current value of 36 kA and in the medium-voltage generator of 2.5 kA.

Key Words : *Medium-voltage Generator, Utility/Supply Vessel, Load Flow & Short Circuit Analysis*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Tugas Akhir	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II.....	3
2.1. Utility/Supply Vessel.....	3
2.2. Generator	4
2.3. Konstruksi Generator	5
2.3.1. Rotor	5
2.3.2. Stator	6
2.4. Generator Arus Bolak Balik (AC)	7
2.5. Faktor Daya.....	8
2.6. Faktor Beban Peralatan (Load Factor)	8
2.7. Faktor Ketidaksamaan (Diversity Factor)	9
2.8. Faktor Beban Generator.....	10
2.9. Tegangan	11
2.9.1. Low Voltage	11

2.9.2. <i>Medium Voltage</i>	12
2.9.3. <i>High Voltage</i>	12
2.9.4. <i>Extra High Voltage</i>	13
2.10. Arus.....	13
2.11. Daya	14
2.12. Sistem Proteksi Listrik	14
2.13. ETAP (<i>Electric Transient Analysis Program</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.13.1. Analisa Aliran Daya (<i>Load Flow Analysis</i>)	15
2.13.2. Analisa Hubung Singkat (<i>Short Circuit Analysis</i>)	15
BAB III	17
3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah	17
3.2. Studi Literatur	17
3.3. Pengumpulan Data	18
3.4. Perhitungan Data.....	18
3.5. Analisa dan Pembahasan	19
3.6. Kesimpulan.....	19
3.7. Flow Chart.....	20
BAB IV	21
4.1. Umum	21
4.2. Data Kapal.....	22
4.3. Pemilihan Generator	23
4.3.1. Generator Tegangan Rendah	23
4.3.2. Generator Bertegangan Menengah	25
4.4. Perbandingan Generator	26
4.5. Online Diagram.....	27
4.6. Simulasi Load Flow Analysis.....	28
4.7. Simulasi Short Circuit Analysis	33
4.7.1. Kondisi Berlayar Generator Tegangan Rendah	33
4.7.2. Kondisi Manouvering Generator Tegangan Rendah	34

4.7.3.	Kondisi Bongkar Muat Generator Tegangan Rendah	36
4.7.4.	Kondisi Berlayar Generator Tegangan Menengah.....	37
4.7.5.	Kondisi Manouvering Generator Tegangan Menengah.....	38
4.7.6.	Kondisi Bongkar Muat Generator Tegangan Menengah.....	40
4.8.	Analisa Hasil Simulasi Load Flow Analysis	41
4.9.	Analisa Hasil Simulasi Short Circuit Analysis.....	43
4.9.1.	Short Circuit Analysis Kondisi Berlayar	43
4.9.2.	Short Circuit Analysis Kondisi Manouvering	44
4.9.3.	Short Circuit Analysis Kondisi Bongkar Muat	45
BAB V	47
5.1.	Kesimpulan.....	47
5.2.	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Supply/Utility vessel.....	3
Gambar 2.2. Generator.....	4
Gambar 2.3. Konstruksi rotor.....	6
Gambar 2.4. Konstruksi stator.....	7
Gambar 2.5. Sistem bintang.....	8
Gambar 3.1. Flow Chart.....	20
Gambar 4.1. MV. SAM PROSFER.....	23
Gambar 4.2. Generator Tegangan Menengah.....	25
Gambar 4.3. Oneline Diagram.....	27
Gambar 4.4. Oneline Diagram (2).....	28
Gambar 4.5. Load Flow Analysis.....	29
Gambar 4.6. Load Flow Analysis (2).....	29

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Low voltage.....	11
Tabel 2.2. Medium voltage.....	12
Tabel 2.3. High voltage.....	12
Tabel 2.4. Extra high voltage.....	13
Tabel 4.1. List daya dan peralatan.....	23
Tabel 4.2. Perhitungan generator.....	25
Tabel 4.3. Perhitungan generator.....	26
Tabel 4.4. Perbandingan generator.....	26
Tabel 4.5. Hasil simulasi load flow analysis.....	30
Tabel 4.6. Hasil simulasi load flow analysis (2).....	31
Tabel 4.7. Hasil simulasi short circuit analysis.....	33
Tabel 4.8. Hasil simulasi short circuit analysis (2).....	34
Tabel 4.9. Hasil simulasi short circuit analysis (3).....	36
Tabel 4.10. Hasil simulasi short circuit analysis (4).....	37
Tabel 4.11. Hasil simulasi short circuit analysis (5).....	38
Tabel 4.12. Hasil simulasi short circuit analysis (6).....	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem transportasi merupakan salah satu hal yang memegang peranan penting pada saat ini, salah satunya pada kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi di lepas pantai Indonesia. Kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi selalu membutuhkan suplai berkala untuk melayani berbagai macam kebutuhan ke *offshore platform*, antara lain makanan, air bersih, bahan bakar, peralatan, atau material yang dibutuhkan *offshore platform* (pipa, pelat, drum, dan lain lain) dan juga sejumlah cairan dan bubuk untuk keperluan pengeboran seperti semen, lumpur, *drill water*, serta *methanol* dan *chemicals* untuk operasional khusus. Kapal jenis ini membutuhkan *manouvering* yang baik, baik pada saat berlayar maupun pada saat akan bersandar ke pelabuhan. Dalam melakukan *manouvering* saat berlayar maupun bersandar kapal suplai vessel ini membutuhkan *bow thruster*, *stern thruster* atau *azimuth thruster* untuk mendapatkan *dynamic positioning* yang baik.

Dengan adanya komponen tersebut membuat kapal *supply vessel* ini membutuhkan daya yang besar dari generator yang di milikinya. Oleh karena itu membutuhkan suatu penyediaan suplai listrik yang berkualitas dan kontinu. Untuk memenuhi hal itu diperlukan suatu sistem pembangkit, distribusi, instalasi listrik yang baik dan efektif. Penyediaan daya listrik pada suatu kapal menggunakan dua buah generator atau lebih.

Berdasarkan teganganya generator terbagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu *low voltage*, *medium voltage* dan *high voltage*. Namun, tidak semua mengetahui batasan pasti antara kelas-kelas tegangan tersebut. Beberapa referensi pun terkadang memberikan batasan yang berbeda. Pada standart internasional IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) std 141, untuk *low voltage* memiliki tegangan yang besarnya kurang dari 1000V ($V < 1 \text{ kV}$), *medium voltage* lebih dari sama dengan 1000V hingga kurang dari 100.000V ($1 \text{ kV} \leq V < 100 \text{ kV}$), dan *high voltage* lebih dari sama dengan 230.000V ($V \geq 230 \text{ kV}$) (Bahroinuddin, 2014).

Kapal kapal *supply vessel* biasanya masih menggunakan generator *low voltage* untuk menyuplai kelistrikan yang dibutuhkan pada kapal tersebut. Dengan adanya kapal yang menggunakan generator *low voltage* dan memiliki kebutuhan daya listrik yang besar maka arus yang dihasilkan pada generator akan semakin besar pula. Dan dengan nilai daya yang sama tetapi nilai teganganya diperbesar, arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Berdasarkan teori tersebut maka akan dilakukan kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal *tugboat* menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*. Kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah MV. SAM PROSFER I milik PT. Pelayaran Sumatra Wahana Perkasa yang difungsikan sebagai *utility/supply vessel* untuk RIG pengeboran minyak dan gas bumi milik Conoco Philip.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dengan menggunakan generator tegangan menengah maka arus yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Oleh karena itu berikut adalah rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan :

1. Apa pengaruh penggantian generator tegangan medium pada kapal MV. SAM PROSFER I
2. Bagaimana grafik analisa *load flow* pada generator tegangan rendah dan generator tegangan medium?
3. Bagaimana grafik analisa *short circuit* pada generator tegangan rendah dan generator tegangan medium?

1.3. Batasan Masalah

Untuk merealisasikan penulisan metodologi penelitian ini, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Hanya sebatas menganalisa penggantian generator tegangan rendah menjadi generator tegangan menengah menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*.
2. Penelitian yang dilakukan dengan berfokus pada kapal *utility/supply vessel* MV. SAM PROSFER I.
3. Penelitian yang dilakukan tidak mencakup tata ruang.
4. Tidak menganalisa dari segi ekonomi.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan utama yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh generator tegangan menengah pada kapal MV. SAM PROSFER I.
2. Mengetahui grafik dari hasil analisa *load flow* pada generator tegangan menengah dan generator tegangan medium.
3. Mengetahui grafik dari hasil analisa *short circuit* pada generator tegangan menengah dan generator tegangan medium.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada masyarakat luas mengenai kapal *supply/utility vessel* yang menggunakan generator tegangan rendah sebaiknya menggunakan generator dengan tegangan menengah karena banyak keuntungan yang didapatkan jika menggunakan generator bertegangan menengah.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat luas mengenai kekurangan dan kelebihan kapal *supply/utility vessel* yang memakai generator tegangan menengah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Utility/Supply Vessel

Utility vessel atau *supply vessel* merupakan kapal yang secara umum bertujuan untuk menunjang kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi di lepas pantai. Kapal ini dirancang untuk dapat beroperasi pada daerah perairan di daerah sekitar offshore platform maupun dermaga yang menjadi tempat berlabuh. Selain itu kapal suplai juga harus bisa membawa sejumlah besar muatan pada kecepatan tertentu, jarak yang cukup jauh, dan mampu beroperasi dengan aman.

Untuk menunjang kerja dari kapal tersebut maka diperlukan kemampuan maneuvering yang baik. Kapal ini diharapkan dapat melakukan 2 jenis *maneuvering* yakni gerak lincah dan diam. Untuk gerak lincah umumnya pada saat akan berlabuh, sedangkan untuk diam biasanya menggunakan sistem *Dynamic Positioning* (DP) merupakan suatu sistem penjaga posisi dengan piranti utama berupa alat pendorong (*thrusters*) yang dioperasikan secara dinamis terkontrol untuk mengimbangi gaya angin, gelombang dan arus. Tujuan dynamic positioning adalah untuk menjaga kapal agar tetap berada pada posisi yang telah ditentukan.

MV. SAM PROSPER 1 merupakan salah satu jenis kapal tersebut. Mulanya kapal ini bernama balongan, (Irwanto, 2010). Adapaun ukuran utama kapal tersebut adalah sebagai berikut :

- Length Over All (LOA) : 34 Meter
- Length Water Line (LWL) : 32.65 Meter
- Beam (Moulded) : 9 Meter
- Depth (Moulded) : 3.6 Meter
- Draft (Designed) : 2.8 Meter
- Complement : 15 Men



Gambar 2.1. Supply/Utility vessel¹

¹ MV. SAM PROSPER 1 PT. Pelayaran Sumatra Wahana Perkasa

2.2. Generator

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari *prime mover* atau penggerak mula. Prinsip kerja dari generator sesuai dengan hukum Lens, yaitu arus listrik yang diberikan pada stator akan menimbulkan momen elektromagnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan ggl pada kumparan rotor. Ggl ini akan menghasilkan suatu arus jangkar. Jadi diesel sebagai *prime mover* akan memutar rotor generator, kemudian rotor diberi eksitasi agar menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan konduktor pada stator dan menghasilkan tegangan pada stator. Karena terdapat dua kutub yang berbeda yaitu utara dan selatan, maka pada 90° pertama akan dihasilkan tegangan maksimum positif dan pada sudut 270° kedua akan dihasilkan tegangan maksimum negatif. Ini terjadi secara terus menerus/*continue*. Bentuk tegangan seperti ini lebih dikenal sebagai fungsi tegangan bolak-balik. Generator arus bolak-balik sering disebut sebagai generator *sinkron* atau *alternator*. Dalam generator medan diletakkan pada bagian yang berputar atau rotor dan lilitan jangkar pada bagian yang diam atau stator dari mesin.



Gambar 2.2. Generator²

Generator dikapal merupakan suatu peralatan bantu (*Auxiliary Machinerics*) yang berfungsi untuk menyuplai energy listrik ke seluruh peralatan listrik yang ada dikapal tersebut. Dalam perencanaan system diatas kapal perlu memperhatikan kapasitas generator, dan kebutuhan daya maksimum dan minimum dari peralatan listrik dikapal tersebut. Kebutuhan daya maksimum merupakan kebutuhan daya rata-rata terbesar yang terjadi pada interval waktu selama periode kerja dari peralatan tersebut, begitu juga sebaliknya. Kebutuhan daya rata-rata merupakan daya rata-rata pada periode kerja yang dapat ditentukan dengan membagi energi yang dipakai dengan jumlah jam periode tertentu. Data kebutuhan daya maksimum digunakan untuk menentukan daya minimum digunakan untuk menentukan konfigurasi system pembangkit yang sesuai serta untuk menentukan kapan generator dioperasikan (Sarwito, 1993).

² Gambar generator

Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol IV Tahun 2016 mensyaratkan bahwa sekurang-kurangnya 2 agregat terpisah dari mesin penggerak utama harus disediakan untuk pemberian daya listrik. Daya keluaran harus berukuran sedemikian sehingga keluaran generator masih bersisa dan cukup untuk menutup kebutuhan daya dalam pelayanan di laut ketika salah satu agregat rusak ataupun dihentikan.

Daya cadangan harus dimasukkan dalam perhitungan untuk menutup kebutuhan daya pada puncak beban waktu singkat, misalnya bila secara otomatis mengasut motor-motor besar. Bila tidak ada petunjuk yang terperinci untuk menentukan persediaan daya yang cukup, daya keluar dari generator sekurang-kurangnya diperlukan untuk pelayanan selama pelayaran dilaut harus 15% lebih besar dari kebutuhan daya yang ditentukan dalam balance daya.

Dalam penentuan Electric Balance BKI Vol. IV. Tahun 2016 juga mensyaratkan bahwa :

- a. Seluruh perlengkapan pemakaian daya yang secara tetap diperlukan untuk memelihara pelayanan yang normal harus diperhitungkan dengan daya kerja penuh.
- b. Beban terhubung dari seluruh perlengkapan cadangan harus dinyatakan. Dalam hal perlengkapan pemakaian daya nyata yang hanya akan bekerja bila perlengkapan serupa rusak, kebutuhan dayanya tidak perlu dimasukkan perhitungan.
- c. Daya masuk total yang harus ditentukan, dari seluruh pemakaian daya yang hanya sementara dimasukkan, dikalikan dengan suatu factor kesamaan waktu bersama (*common simultancity factor*) dan ditambahkan kepada daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakaian daya yang terhubung tetap.
- d. Daya masuk total sebagaimana ditentukan sesuai a. dan c. maupun kebutuhan daya untuk instalasi pendingin yang mungkin ada, harus dipakai sebagai dasar dalam pemberian ukuran instalasi generator.

2.3. Konstruksi Generator

Menurut pendapat Arfish (2009) Generator terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu:

1. Bagian yang bergerak (rotor).
2. Bagian yang diam (stator).

2.3.1. Rotor

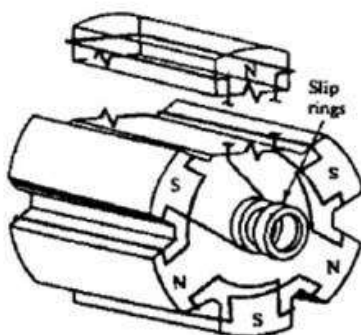
Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar. Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (*air gap*). Rotor terdiri dari dua bagian umum, yaitu:

1. Inti kutub
2. Kumparan medan

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Pada kumparan

medan ini juga terdapat dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi. Isolasi pada bagian ini harus benar-benar baik dalam hal kekuatan mekanisnya, ketahanannya akan suhu yang tinggi dan ketahanannya terhadap gaya sentrifugal yang besar.

Konstruksi rotor untuk generator yang memiliki nilai putaran relatif tinggi biasanya menggunakan konstruksi rotor dengan kutub silindris atau "*cylindrical poles*" dan jumlah kutubnya relatif sedikit (2, 4, 6). Konstruksi ini dirancang tahan terhadap gaya-gaya yang lebih besar akibat putaran yang tinggi. Untuk putaran generator yang relatif rendah atau sedang (kurang dari 1000 rpm), dipakai konstruksi rotor dengan kutub menonjol atau "*salient pole*" dengan jumlah kutub-kutub yang relatif banyak. Pada prinsipnya, salah satu dari penghantar atau kutub-kutub ini dibuat sebagai bagian yang tetap sedangkan bagian-bagian yang lainnya dibuat sebagai bagian yang berputar.



Gambar 2.3. Konstruksi rotor³

2.3.2. Stator

Kebalikan dari rotor, stator adalah bagian pada motor listrik atau dinamo listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem rotor. Jadi penempatan stator biasanya mengelilingi rotor, stator bisa berupa gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan angker dan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor.

1. Inti stator

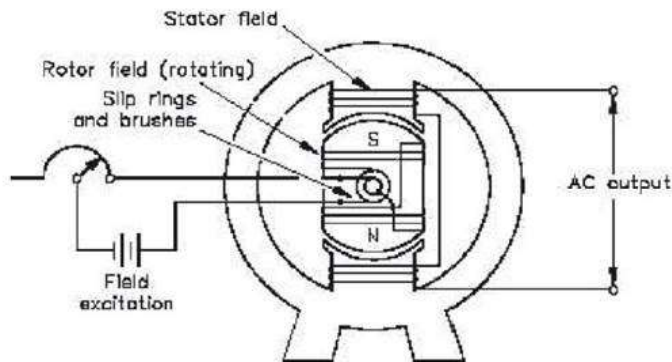
Bentuk dari inti stator ini berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (*eddy current losses*). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya.

2. Belitan stator

Bagian stator yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang terdapat di dalam slot-slot dan ujung-ujung kumparan. Masing-masing slot dihubungkan untuk mendapatkan tegangan induksi.

³ Generator dan motor ac (Arfish,2009)

3. Alur stator
Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.
4. Rumah stator
Bagian dari stator yang umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian belakang dari rumah stator ini biasanya memiliki sirip-sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.



Gambar 2.4. Konstruksi stator⁴

2.4. Generator Arus Bolak Balik (AC)

System pembangkit daya arus bolak balik (Alternating Current) menjadi standart bagi kebanyakan instalasi listrik di kapal. Pemilihan alternating current (AC) Plant dibandingkan dengan Direct Current (DC) Plant memiliki keuntungan yang signifikan antara lain :

- Penghematan dalam biaya, berat peralatan dan kebutuhan ruangan
- Pemeliharaan yang rendah
- Ketersediaan peralatan yang tinggi
- Keandalan yang tinggi

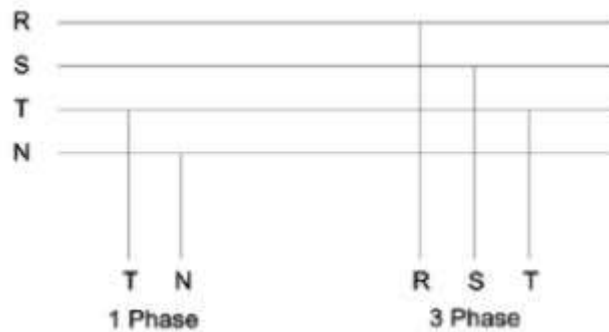
Banyak dari keuntungan ini direalisasikan melalui penggunaan motor induksi menggantikan motor DC yang mempunyai komulator dan sikat arang. Frekuensi 60 cps merupakan standart (AC) Plants dan dapat berupa salah satu dari tipe-tipe berikut : (Harrington, 1977)

- 120 Volt, 3 phase 3 kawat
- 230 Volt, 3 phase 3 kawat
- 450 Volt, 3 phase 3 atau 4 kawat

⁴ Generator dan motor ac (Arfish,2009)

Tegangan type 450 Volt, (3 phase 4 kawat) kebanyakan digunakan untuk system tegangan yang lebih besar seperti alat bongkar muat, phase 230 Volt (3 phase 3 kawat) digunakan untuk system dengan daya yang relative kecil seperti penerangan dan lain sebagainya.

Daya pada system 3 phase :



Gambar 2.5. Sistem Bintang⁵

2.5. Faktor Daya

Factor daya adalah perbandingan antara daya sebenarnya dan daya nyata dimana:

Daya sebenarnya (true power) = $V.I \cos \theta$ (KW)

Daya samar (apparated power) = $V.I$ (KVA)

Factor daya ($\cos \theta$) = $\frac{\text{True Power}}{\text{Apparent Power}}$

$$= \frac{V \times I \times \cos \theta \text{ (kW)}}{V \times I \text{ (KVA)}} \quad [1]$$

Factor daya suatu sitem kelistrikan sangat tergantung pada jenis beban yang digunakan dari system tersebut.

Untuk jenis lampu filament, pemanas atau kompor listrik mempunyai factor daya yang sama. Beban yang berupa motor induksi, lampu fluorescence dan transformator mempunyai factor daya yang berbeda. Biasanya factor daya ditentukan 0.8 lagging untuk mewakili kondisi operasional rata-rata.

2.6. Faktor Beban Peralatan (Load Factor)

Salah satu factor yang penting pada perencanaan daya listrik diatas kapal adalah factor beban. Tidak semua peralatan-peralatan listrik diatas kapal bekerja pada beban penuh pada saat bersamaan. Dengan mengetahui besaran factor beban setiap peralatan

⁵ www.google.com

listrik, dapat diketahui kapasitas beban maksimum dalam kaitannya dengan penentuan kapasitas generator yang optimal serta ekonomis di kapal.

Factor beban didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu kerjanya peralatan dengan pada suatu kondisi dengan total waktu aktifitas suatu kondisi yang dalam rumusnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{Factor Beban} = \frac{\text{Total Waktu Operasi Peralatan}}{\text{Total Waktu Kondisi}} \quad [2]$$

Untuk peralatan yang jarang beroperasi dianggap mempunyai beban nol. Sedangkan untuk peralatan yang jarang sekali digunakan nilai factor beban nya dianggap nol seperti : Fire pump, anchor windlass, capstan dan boat winches (Harrington, 1997).

Data yang diperlukan dalam perhitungan factor beban peralatan adalah sebagai berikut :

- Data daya keluaran dan masukan (kW) dari peralatan listrik
- Data jumlah satuan peralatan (unit)
- Data jumlah satuan peralatan yang di operasikan (unit)
- Data jumlah operasi peralatan per hari

Penentuan kapasitas generator dengan menggunakan factor beban operasional berkaitan dengan nilai ekonomis pengoperasian kapal. Semakin kecil factor beban akan semakin kecil juga biaya produksi listrik per KWh.

2.7. Faktor Ketidaksamaan (*Diversity Factor*)

Peralatan listrik diatas kapal memiliki karakteristik pembebanan yang spesifik dimana peralatan tersebut beroperasi tidak pada waktu penggunaan yang teratur dan secara bersamaan. Yang dimaksudkan disini ialah peralatan tersebut jarang beroperasi secara kontinu pada periode tertentu secara bersamaan. Oleh karena itu adalah penting untuk memperhatikan factor ketidaksamaan ini dalam perencanaan kapasitas generator.

Terdapat dua jenis pembebanan dalam pengoperasian peralatan listrik di kapal:

- Beban yang bekerja terus-menerus (Continuous Load) yaitu peralatan yang beroperasi secara kontinu pada kondisi pelayaran normal seperti : lampu - lampu Navigasi, pompa untuk cpp, dan lain sebagainya
- Beban terputus-putus (Intermittent Load) yaitu peralatan yang beroperasi secara terputus-putus (Periodic) pada kondisi pelayaran normal dengan periode waktu yang tidak tetap seperti pompa transfer bahan bakar, pompa air tawar dan lain-lain.

Factor Ketidak-samaan (Diversity Factor) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah kebutuhan daya intermitten yang beroperasi selama periode waktu tertentu dengan jumlah dari kebutuhan daya total (Continuous Load + Intermitten Load) dari elemen – elemen beban dalam periode yang sama.

$$\text{Diversity Factor} = \frac{\text{Total Daya Intermitten Yang Beroperasi}}{\text{Total Daya Sesungguhnya}} \quad [3]$$

Sesuai peraturan BKI Volume IV tahun 2016 faktor kesamaan harus ditetapkan dengan dimasukkan pertimbangan beban tertinggi yang diharapkan dapat terjadi pada waktu yang sama. Jika penentuan yang tepat tidaklah mungkin factor kesamaan waktunya yang digunakan tidak boleh lebih kecil dari 0.5.

2.8. Faktor Beban Generator

Cadangan daya harus dimasukkan dalam perhitungan untuk menutup kebutuhan daya pada puncak beban waktu singkat, misalnya bila secara otomatis mengasut motor-motor besar. Untuk itu kapasitas generator harus mampu mengatasi daya puncak ini. Sesuai dengan peraturan BKI Vol. IV Tahun 2016. Bila ada petunjuk terperinci untuk menentukan persediaan daya yang cukup, daya keluaran generator yang diperlukan untuk pelayanan selama pelayaran di laut harus paling sedikit 15% lebih besar dari kebutuhan daya yang ditetapkan dalam balance daya. Factor beban generator didefinisikan sebagai perbandingan antara total daya beban dengan total daya generator in service.

$$\text{Load factor} = \frac{\text{Total Daya Yang Di Operasikan}}{\text{Kapasitas Total Generator}} \quad [4]$$

Misal daya yang di operasikan 100 KW maka daya cadangan untuk starting (arus asut) sebesar 15 KW, maka daya genset tersedia 115 KW. Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Faktor beban generator} &= (100/115) \times 100\% \\ &= 0.869 \times 100\% \\ &= 86.9\% \end{aligned}$$

2.9. Tegangan

Tegangan adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya.

$$V = I \times R \qquad V = \frac{P}{I} \qquad V = \sqrt{P \times R} \quad [5]$$

Dimana :

V	=	Tegangan (Volt)
I	=	Arus (Ampere)
P	=	Daya (Watt)
R	=	Hambatan (Ohm)

Berdasarkan jenisnya tegangan dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. *Low Voltage*
2. *Medium Voltage*
3. *High Voltage*
4. *Extra High Voltage*

Namun, tidak semua mengetahui batasan pasti antara kelas-kelas tegangan tersebut. Berbagai referensi pun terkadang memberikan batasan yang berbeda. Batas kelas tegangan yang telah umum dipakai di dunia industri merujuk pada standart internasional IEEE Std 141 (Bahroinuddin, 2014).

2.9.1. Low Voltage

Tegangan yang memiliki besar kurang dari 1000 V atau 1 kV ($V < 1 \text{ kV}$). Kelas tegangan ini biasanya digunakan untuk menyuplai peralatan utilitasi.

Tabel 2.1. Low Voltage⁶

Voltage (V)	Jumlah Wire	Voltage max (V)
LOW VOLTAGE		
240	3 W	245
480	3 W	508
600	3 W	635

⁶ Sistem distribusi kelistrikan dunia industri (Bahroinuddin, 2014)

2.9.2. Medium Voltage

Tegangan yang memiliki besar lebih dari sama dengan 1000 V atau 1 kV hingga kurang dari 100.000 v atau 100 kV ($1 \text{ kV} \leq V < 100 \text{ kV}$). Kelas tegangan ini biasa digunakan untuk saluran subtransmisi dan distribusi utama. Tagangan pada besaran sekitar 13.800 V ke bawah juga sering digunakan untuk menyuplai motor-motor listrik berskala besar.

Tabel 2.2. Medium Voltage⁷

Voltage (V)	Jumlah Wire	Voltage max (V)
MEDIUM VOLTAGE		
2400	3 W	2540
4160	3 W	4400
4800	3 W	5080
6900	3 W	7260
13800	3 W	14520
23000	3 W	24340
34500	3 W	36510

2.9.3. High Voltage

Tegangan yang memiliki besar lebih dari sama dengan 100.000 V atau 100 kV hingga kurang dari 230.000 V atau 230 kV ($100 \text{ kV} \leq V < 230 \text{ kV}$). Jenis kelas ini digunakan untuk menyalurkan energi listrik dalam jumlah besar antar transmisi substation.

Tabel 2.3. High Voltage⁸

Voltage (V)	Jumlah Wire	Voltage max (V)
HIGH VOLTAGE		
46 kV	3 W	48,3 kV
69 kV	3 W	72,5 kV
115 kV	3 W	121 kV
138 kV	3 W	145 kV
161 kV	3 W	169 kV
230 kV	3 W	242 kV

⁷ Sistem distribusi kelistrikan dunia industri (Bahroinuddin, 2014)

⁸ Sistem distribusi kelistrikan dunia industri (Bahroinuddin, 2014)

2.9.4. Extra High Voltage

Tegangan yang memiliki besar lebih dari sama dengan 230 kV ($V \geq 230$ kV). Pada dunia sehari-hari kita sering mendengar saluran transmisi PLN yang disebut SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi). SUTET adalah jenis kelas ini. Kelas ini juga menjadi saluran transmisi yang biasa digunakan untuk mentransmisikan listrik dalam jumlah yang sangat besar dan biasanya berjarak cukup jauh antara tempat pembangkitan dan tempat bebannya.

Tabel 2.4. Extra High Voltage⁹

Voltage (V)	Jumlah Wire	Voltage max (V)
EXTRA HIGH VOLTAGE		
345 kV	3 W	362 kV
500 kV	3 W	550 kV
765 kV	3 W	800 kV
1100 Kv	3 W	1200 kV

2.10. Arus

Arus adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik atau Ampere. Contoh arus listrik dalam kehidupan sehari-hari berkisar dari yang sangat lemah dalam satuan mikro Ampere (μ A) seperti di dalam jaringan tubuh hingga arus yang sangat kuat 1-200 kiloAmpere (kA) seperti yang terjadi pada petir. Dalam kebanyakan sirkuit arus searah dapat diasumsikan resistansi terhadap arus listrik adalah konstan sehingga besar arus yang mengalir dalam sirkuit bergantung pada voltase dan resistansi sesuai dengan hukum Ohm, (Cahyokrisma, 2010).

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [6]$$

Dimana :

V	=	Tegangan (Volt)
I	=	Arus (Ampere)
P	=	Daya (Watt)
R	=	Hambatan (Ohm)

⁹ Sistem distribusi kelistrikan dunia industri (Bahroinuddin, 2014)

2.11. Daya

Daya dalam fisika adalah laju energi yang dihantarkan atau kerja yang dilakukan per satuan waktu. Daya dilambangkan dengan P, (Cahyokrisma, 2010). Mengikuti definisi ini daya dapat dirumuskan sebagai:

$$P = \frac{W}{t} \qquad P = \frac{V^2}{R} \qquad P = I^2 \times R \qquad P = V \times I \quad [7]$$

Dimana :

V	=	Tegangan (Volt)
I	=	Arus (Ampere)
P	=	Daya (Watt)
R	=	Hambatan (Ohm)
t	=	Waktu
W	=	Usaha (Joule)

2.12. Sistem Proteksi Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi *abnormal* operasi sistem itu sendiri. Kondisi *abnormal* itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, *asinkron* dan lain-lain.

Dengan kata lain sistem proteksi itu bermanfaat untuk:

1. Menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi *abnormal* operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikit pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat.
2. Cepat melokalisir luas daerah yang mengalami gangguan, menjadi sekecil mungkin.
3. Dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.
4. Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

2.13. Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)

Analisa aliran daya merupakan suatu analisa aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran transmisi hingga sampai ke beban (sisi penerima). Idealnya, daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterimadi beban adalah sama. Namun pada kenyataannya, daya yang dikirim di sisi pengirim tidak sama dengan daya yang diterima di sisi beban. Hal ini disebabkan beberapa hal, yaitu :

- Impedansi di saluran transmisi
Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.
- Tipe beban yang tersambung jalur
Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi PF sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

Pada analisa aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mengetahui adanya tegangan jatuh (*drop voltage*) pada sisi beban.

2.14. Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)

Hubung Singkat (*Short Circuit*) adalah suatu peristiwa terjadinya hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar) yang biasa disebut arus hubung singkat. Adanya hubung singkat menimbulkan arus lebih yang pada umumnya jauh lebih besar daripada arus pengenal peralatan dan terjadi penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik, sehingga bila gangguan tidak segera dihilangkan dapat merusak peralatan dalam sistem tersebut. Besarnya arus hubung singkat yang terjadi sangat dipengaruhi oleh jumlah pembangkit yang masuk pada sistem, letak gangguan dan jenis gangguan.

Ada 2 jenis gangguan hubung singkat berdasarkan jenis arus gangguannya, yaitu gangguan simetris dan gangguan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan yang arus gangguannya seimbang, dan sebaliknya gangguan asimetris adalah gangguan yang arus gangguannya tidak seimbang. Perhitungan tegangan dan arus pada titik hubung singkat dapat dilakukan apabila sistem sederhana atau seimbang. Apabila sistem tidak seimbang maka digunakan metode komponen simetri untuk menganalisanya.

Tiga komponen simetris antara lain:

- Komponen Urutan Positif (*Positive Sequence Component*)
Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa 120° dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya (ditandai dengan subscript 1)

- **Komponen Urutan Negatif (*Negative Sequence Component*)**
Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa 120° dan mempunyai urutan fasa yang berbeda dengan fasor aslinya (ditandai dengan subscript 2)
- **Komponen Urutan Nol (*Zero Sequence Component*)**
Merupakan komponen yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan tidak ada pergeseran fasa antara fasor yang satu dengan yang lain (ditandai dengan subscript 0)

BAB III

METEDOLOGI

Pada bab ini menguraikan langkah – langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian. Metodologi merupakan kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi penulisan pada tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir. Metodologi kajian teknis dijadikan sebagai acuan untuk menyelesaikan penelitian tentang kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal tugboat menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*.

3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui apa pengaruh penggantian generator tegangan rendah terhadap generator tegangan menengah pada kapal *utility/supply vessel*. Karena kapal *utility/supply vessel* biasanya masih menggunakan generator tegangan rendah untuk menyuplai kelistrikan yang dibutuhkan pada kapal tersebut. Dengan adanya kapal yang menggunakan generator tegangan rendah dan memiliki kebutuhan daya listrik yang besar maka arus yang dihasilkan pada generator akan semakin besar pula. Dan dengan nilai daya yang sama tetapi nilai teganganya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Berdasarkan teori tersebut maka akan dilakukan kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal tugboat menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*.

Selain itu, perumusan masalah ini nantinya akan dilakukan analisa :

1. Penelitian ini berfokus pada penggantian generator tegangan rendah menjadi generator tegangan menengah pada kapal MV. SAM PROSFER I
2. Bagaimana grafik analisa *load flow* pada generator tegangan rendah dan generator tegangan medium?
3. Bagaimana grafik analisa *short circuit* pada generator tegangan rendah dan generator tegangan medium?

3.2. Studi Literatur

Tujuan dari study literature ini adalah untuk memperoleh dasar – dasar informasi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal ini study pustaka yang dilakukan melalui jurnal, paper, buku-buku serta website (browsing internet) yang menunjang dalam penulisan Skripsi ini.

Dalam hal ini tinjauan pustaka yang dipakai untuk membantu menyelesaikan tugas akhir adalah sebagai berikut :

- Arwinas, D., 2001. Petunjuk Penanganan Kapal dan Barang di Pelabuhan. Jakarta: s.n.
- Bahroinuddin, M., 2014. Sistem Distribusi Kelistrikan Dunia Industri.
- Sudjatmiko, F., 1995. Dalam: Pokok-Pokok Pelayaran Niaga Edisi Kedua. Jakarta: Akademika Presindo, p. 64.
- Arifsh, 2009. Generator dan Motor AC.
- Biro Klasifikasi Indonesia, 2016. Rule For Electrical Instalation, Volume IV, BKI Jakarta.
- Cahyokrisma, 2010. Pengertian Daya Arus dan Tegangan.
- Irwanto, 2010. Analisa Kebutuhan Daya Listrik Untuk Penambahan Bow Thruster Akibat Perubahan Fungsi Kapal Dari Tug Boat Menjadi Utility/Supply Vessel. FTK-ITS Surabaya.
- Sarwito, Sardono, 1993. Perhitungan Kapasitas Generator yang Optimum Di Kapal. Surabaya: Lembaga Penelitian ITS.
- Harrington, Roy L., 1977. Society of Naval Architects and Marine Engineers.

3.3. Pengumpulan Data

Selanjutnya adalah pengumpulan data – data penunjang penulisan tugas akhir ini. Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data dari penelitian sebelumnya, diantaranya sebagai berikut :

- Data Gambar Kapal
Data kapal yang dibutuhkan adalah LOA, Lpp, Lwl, B (Lebar kapal), H (Tinggi Kapal), T (Sarat kapal) dan lain lain.
- Data Load Balance dan Wiring Diagram
Merupakan data yang berisi besarnya daya yang diperlukan oleh motor-motor listrik yang ada di kapal serta peletakan alat tersebut didalam kapal yang merupakan data yang di peroleh dari galangan atau desainer awal kapal.
- Spesifikasi
Data spesifikasi peralatan-peralatan diantaranya pompa pompa dan sebagainya
- Data Tambahan
Data tambahan ini merupakan data yang menunjang kinerja kapal seperti spesifikasi generator tegangan menengah, sebagai acuan dalam perhitungan yang akan dilakukan.

3.4. Perhitungan Data

Menghitung kebutuhan kapal yang sudah ada sebelumnya menggunakan generator bertegangan menengah. Perhitungan data dilakukan untuk mendapatkan perbedaan yang terjadi pada saat kapal menggunakan generator bertegangan rendah dan pada saat kapal menggunakan generator bertegangan menengah yang nantinya akan dibuatkan grafik guna lebih mudah dalam pembacaanya.

3.5. Analisa dan Pembahasan

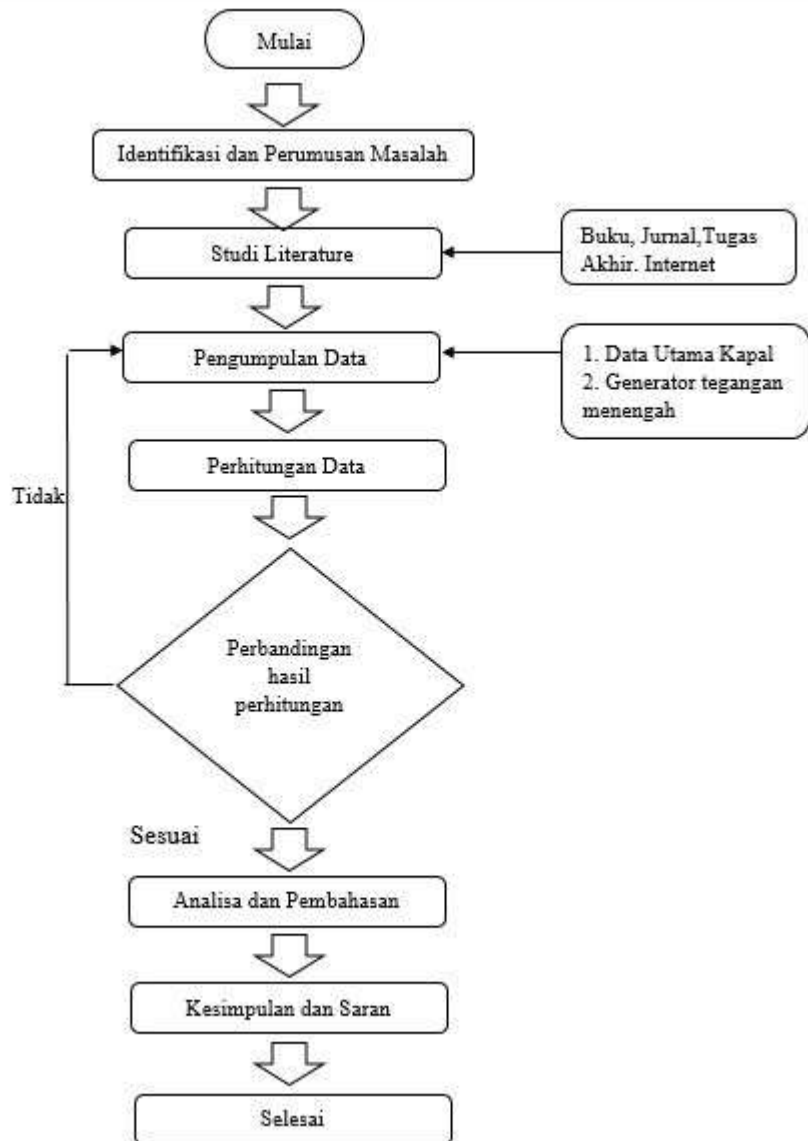
Pada penelitian ini analisa dan pembahasan dilakukan dengan menggunakan software ETAP. Analisa *load flow* dan *short circuit* pada generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah dilakukan untuk mengetahui perbedaan arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh kedua generator tersebut. Setelah itu hasil yang didapat dari analisa load flow dan short circuit akan dimasukkan kedalam grafik agar memudahkan pembacaanya dalam pembahasan.

3.6. Kesimpulan

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data dan perbandingan grafik. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Saran diberikan oleh penulis untuk menjadi rujukan tentang kendala-kendala yang terdapat dalam proses penulisan tugas akhir ini.

3.7. Flow Chart

Adapun *flow chart* metodologi penelitian tentang kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal tugboat menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short sircuit* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Flow chart pengerjaan tugas akhir¹⁰

¹⁰ Flow chart tugas akhir

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal tugboat menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*. Analisa data yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan simulasi *load flow* dan *short circuit analysis* pada software ETAP. Dengan menggunakan software ETAP pada penelitian ini memudahkan pembuatan *oneline diagram*, analisa *load flow*, dan analisa *short circuit*.

Simulasi *load flow analysis* diperlukan untuk mengetahui nilai daya dan arus pada saat kapal *utility/supply vessel* memakai generator bertegangan rendah dan mengetahui nilai daya dan arus pada saat kapal *utility/supply vessel* memakai generator bertegangan menengah. Sedangkan simulasi *short circuit analysis* untuk mengetahui nilai arus hubungan singkat di setiap bus pada kapal *utility/supply vessel*.

Dibawah ini adalah tahapan pengerjaan tugas akhir sampai pada tahap simulasi rangkaian menggunakan software ETAP, yaitu :

1. Data kapal
Data kapal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data kapal dari penelitian sebelumnya yang berjudul Analisa Kebutuhan Daya Listrik Untuk Penambahan Bow Thruster Akibat Perubahan Fungsi Kapal Dari Tugboat menjadi Utility/Supply Vessel oleh Irwanto.
2. Generator tegangan medium
Mencari spesifikasi dari generator bertegangan menengah dan menghitung daya yang dibutuhkan generator bertegangan menengah untuk menyuplai keseluruhan daya dari kapal *utility/supply vessel*.
3. *Online diagram*
Membuat *online diagram* pada software ETAP dari generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah agar dapat dilakukan simulasi *load flow* dan *short circuit analysis*.
4. Simulasi *load flow*
Setelah membuat *online diagram* dalam software ETAP barulah dapat dilakukan simulasi *load flow analysis*. Simulasi *load flow analysis* dilakukan guna mencari nilai daya dan arus pada generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah yang nantinya akan dimuatkan dalam grafik pada saat pembahasan.
5. Simulasi *short circuit*
Simulasi selanjutnya menggunakan simulasi *short circuit analysis*. Simulasi *short circuit analysis* dilakukan guna mengetahui hubungan singkat pada setiap bus yang ada pada *online diagram* kapal *utility/supply vessel* tersebut.

6. Analisa data

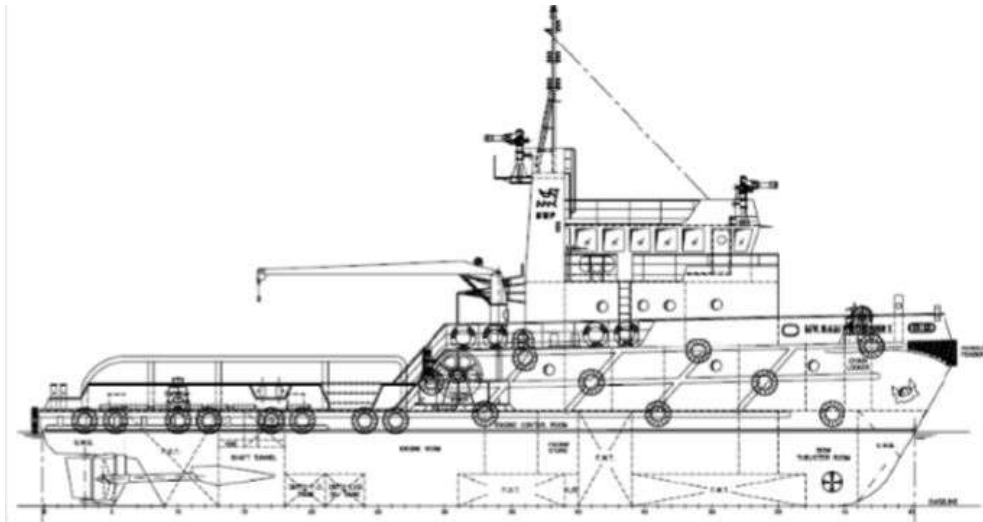
Setelah melakukan simulasi *load flow* dan *short circuit analysis* pada setiap generator, barulah nilai nilai yang didapat dari simulasi tersebut dianalisa. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai arus dan daya akan naik apabila kapal *utility/supply vessel* dengan generator bertegangan rendah diubah menjadi generator bertegangan menengah, dan untuk mengetahui nilai hubungan singkat dari tiap bus pada masing masing generator.

4.2. Data Kapal

Data kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah kapal MV. SAM PROSFER I yang beroperasi di perairan Natuna Kepulauan Riau. Kapal ini memiliki 3 (tiga) generator yang masing masing memiliki daya sebesar 800 kW. Adapun ukuran utama dari kapal MV. SAMPROSFER I adalah sebagai berikut :

1. Name of Ship : MV. SAM PROSFER I
2. Builder & Yard No. : PT. MARSPEC
3. Date of Build :
 - Launching : 16 September 1995
 - Delivery : 1996
4. Purpose of Ship : Utility Vessel
5. Classification & Nation :
 - Class Society : BKI / BV
 - Notation : Indonesia
6. Nationaly :
 - Port of Registry : Jakarta
 - Call Sign : YFIY
 - IMO No. : 9155793
7. Principal Dimension :
 - LOA : 34 Meter
 - Lwl : 32.65 Meter
 - Lpp : 31.15 Meter
 - Breadth : 9 Meter
 - Depth : 3.6 Meter
 - Draft : 2.8 Meter
 - Complement : 15 Person
8. GRT : 130 Tonnes
9. Main Engine :
 - Merk/Type : CUMMINS KTA38M2
 - Service Speed : 12 Knot
 - Mcr : 2 x 1200 HP
 - RPM : 1800

10. Generator :
- Merk/Type : CUMMINS HCI634H1
 - Capacity : 800 kW
 - Voltage : 480 Volt
 - Frekuensi : 60 Hz



Gambar 4.1. MV. SAM PROSFER I¹¹

Untuk memperoleh besarnya faktor beban dari generator, secara umum harus diketahui terlebih dahulu besar factor beban dari masing-masing peralatan. Dalam analisa ini dilakukan perhitungan berdasarkan beberapa kondisi yaitu :

- sailing (berlayar)
- manouvering
- cargo handling (bongkar muat).

4.3. Pemilihan Generator

4.3.1. Generator Tegangan Rendah

Tabel 4.1. List dan Daya Peralatan Kapal¹²

No.	Peralatan	Jumlah	Daya
1	Bilge Pump	1	2,20
2	Fire and G.S Pump	2	11
3	Freshwater Pump	2	0,75

¹¹ Kapal MV. SAMPROSFER I

¹² List dan daya peralatan kapal MV. SAM PROSFER I

Tabel 4.1. List dan Daya Peralatan Kapal (Lanjutan)¹³

No.	Peralatan	Jumlah	Daya
4	Seawater Pump	1	0,75
5	Sewage Pump	1	1,5
6	AC Cooling Pump	1	1,5
7	F.O Transfer Pump	1	1,5
8	Wasplace Ex. Fan	3	0,2
9	Workshop Ex. Fan	1	0,4
10	ER Supply Fan	2	3,7
11	L.O Standby Pump	1	11
12	F.O Feed Pump	1	0,4
13	O.W.S Service Pump	1	0,4
14	L.O Transfer Pump	1	0,4
15	Air Compressor	2	3,7
16	Rescue Boat Hoist Motor	1	2,4
17	Crane	1	20
18	Standby F.W Pump	1	7,5
19	Standby S.W Pump	1	3,7
20	Dirty LO/FO Pump	1	0,4
21	Hyd. Pump Deck	1	30
22	Azimuth Thruster	2	800
23	Drill Machine	1	0,75
24	Grinder	1	0,75
25	Lathe	1	2,2
26	Electric Range With Oven	1	18
27	Calorifier	1	3
28	Refrigerating Machinery	1	4,2
29	Rescue Boat Boom Slew Motor	1	12
30	Welding Transformer	1	1,5
31	ECR Air Conditioning	1	9,7
32	Air Conditioning Room	1	0,75
33	S.W Cooling Pump	1	150
34	Bow Thruster Motor	1	30
35	Sec. Side Of Transfor. Shown	1	2,73
36	Distribution Board No. 1	1	1,66
37	Distribution Board No. 2	1	11,06
38	Distribution Board No. 3	1	7,44
39	Distribution Board No. 4	1	0,6

¹³ List dan daya peralatan kapal MV. SAM PROSFER I

Dari tabel 4.1. diatas dapat kita hitung *load factor* peralatan untuk menentukan generator yang dipakai. Untuk perhitungan pada generator kapal MV. SAM PROSFER I terdapat peralatan yang ditambahkan yaitu 2 buah *azimuth thruster* dengan daya 800 kW untuk menambah kehandalan dalam *dinamic positioning* kapal pada saat berlayar maupun *manouvering*. *Azimuth thruster* ini dipilih berdasarkan daya yang ada pada *main engine* kapal MV. SAM PROSFER I.

Untuk perhitungan generator dapat dilihat dari tabel 4.2. dibawah ini dengan menggunakan generator 3 x 800 kW dengan rincian 2 (dua) generator beroperasi dan 1 (satu) generator standby.

Tabel 4.2. Perhitungan Generator¹⁴

No.	ITEM	Sailing	Manuvering	Cargo Handling
1	Total load : Continous load	52,70	60,23	201,13
	Power (d) : Intermitten load	1.086,88	1154,25	925,19
2	Diservity factor (e) : 0,55 x (d) intermitten	597,78	634,84	508,86
3	Number of load : (d) continue + (e)	650,49	695,07	709,98
4	Generator work : kW x S.set	800 x 1	800 x 1	800 x 1
5	Working capacity	800	800	800
6	Efficiency	81,31	86,9	88,75

4.3.2. Generator Bertegangan Menengah

Setelah menghitung daya generator yang terdapat pada kapal MV. SAM PROSFER I, selanjutnya memilih generator bertegangan menengah untuk menggantikan generator awal yang memiliki tegangan rendah. Pemilihan generator bertegangan menengah berdasarkan daya yang terdapat pada generator kapal sebelumnya yaitu 800 kW. Gambar 4.2. adalah bentuk dari generator bertegangan menengah.



Gambar 4.2. Generator Tegangan Menengah¹⁵

¹⁴ Hasil perhitungan generator bertegangan rendah

¹⁵ Gambar generator CUMMINS QST30-G4

Generator bertegangan menengah dengan daya yang sama pada generator bertegangan rendah dipilih agar hasil nilai dari simulasi *load flow* dan *short circuit analysis* berjalan maksimal. Jadi perbedaan pada generator ini hanya terdapat pada voltasenya saja. Adapun spesifikasi dari generator tegangan menengah adalah sebagai berikut :

- Merk/Type : CUMMINS QST30-G4
- Capacity : 800 kW
- Voltage : 6300 Volt
- Frekuensi : 60 Hz

Untuk perhitungan generator bertegangan menengah dapat dilihat pada tabel 4.3.. Pada tabel tersebut dapat dilihat untuk pendistribusian daya, generator bertegangan menengah memiliki daya yang lebih besar dari generator bertegangan menengah, dengan menggunakan 3 x 800 kW dengan rician 2 (dua) generator beroperasi dan 1 (satu) generator standby

Tabel 4.3. Perhitungan Generator (2)¹⁶

No.	ITEM	Sailing	Manuvering	Cargo Handling
1	Total load : Continous load	52,70	60,23	201,13
	Power (d) : Intermitten load	1.086,88	1221,62	992,56
2	Diservity factor (e) : 0,55 x (d) intermitten	597,78	671,89	545,91
3	Number of load : (d) continue + (e)	650,49	732,12	747,04
4	Generator work : kW x S.set	800 x 1	800 x 1	800 x 1
5	Working capacity	800	800	800
6	Efficiency	81,31	91,5	93,38

4.4. Perbandingan Generator

Dengan sudah dihitungnya daya yang dibutuhkan untuk generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah, Tabel 4.4. menjelaskan perbandingan dari 2 (dua) generator tersebut.

Tabel 4.4. Perbandingan Generator¹⁷

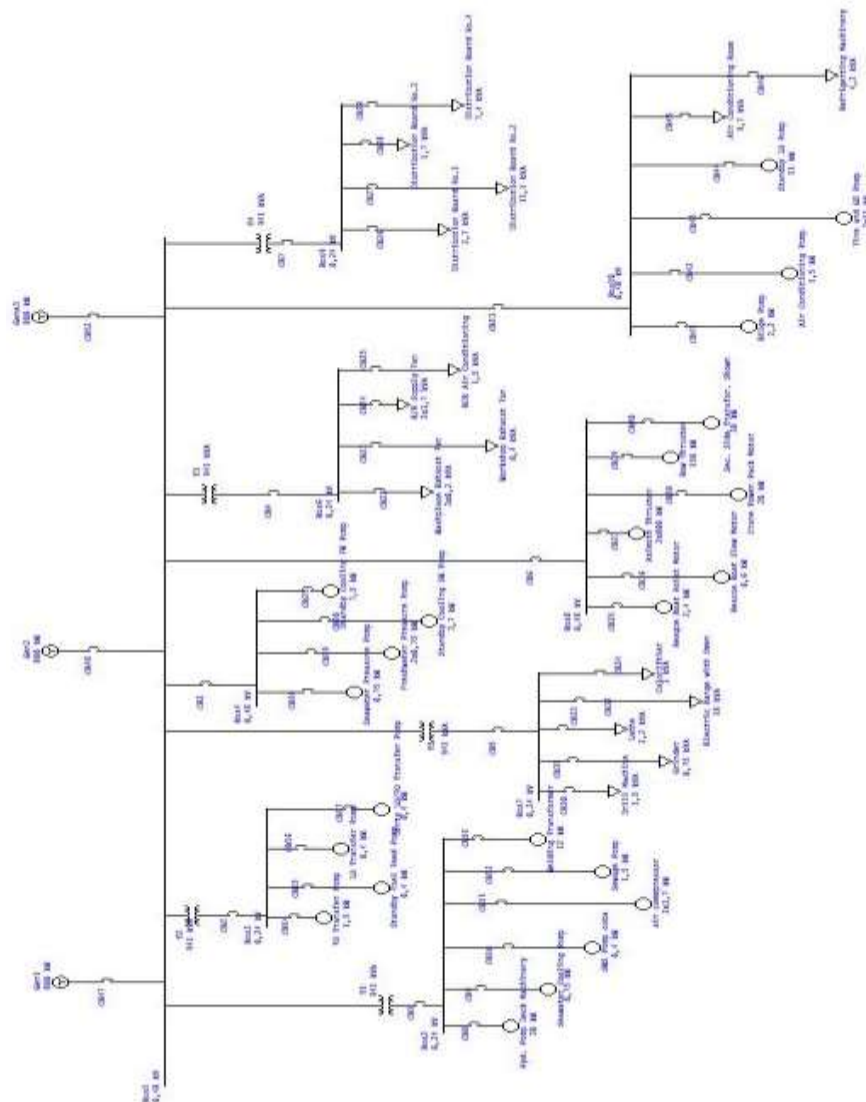
	Low Voltage	Medium Voltage
Merk	CUMMINS	CUMMINS
Type	HCI634HI	QST30-G4
Capacity (kW)	800	800
Voltage (Volt)	480	6300
Frekuensi (Hz)	60	60
Dimension L x W x H	4.2 x 1.6 x 2.2	2.1 x 1.4 x 1.6

¹⁶ Hasil perhitungan generator bertegangan menengah

¹⁷ Perbandingan generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah

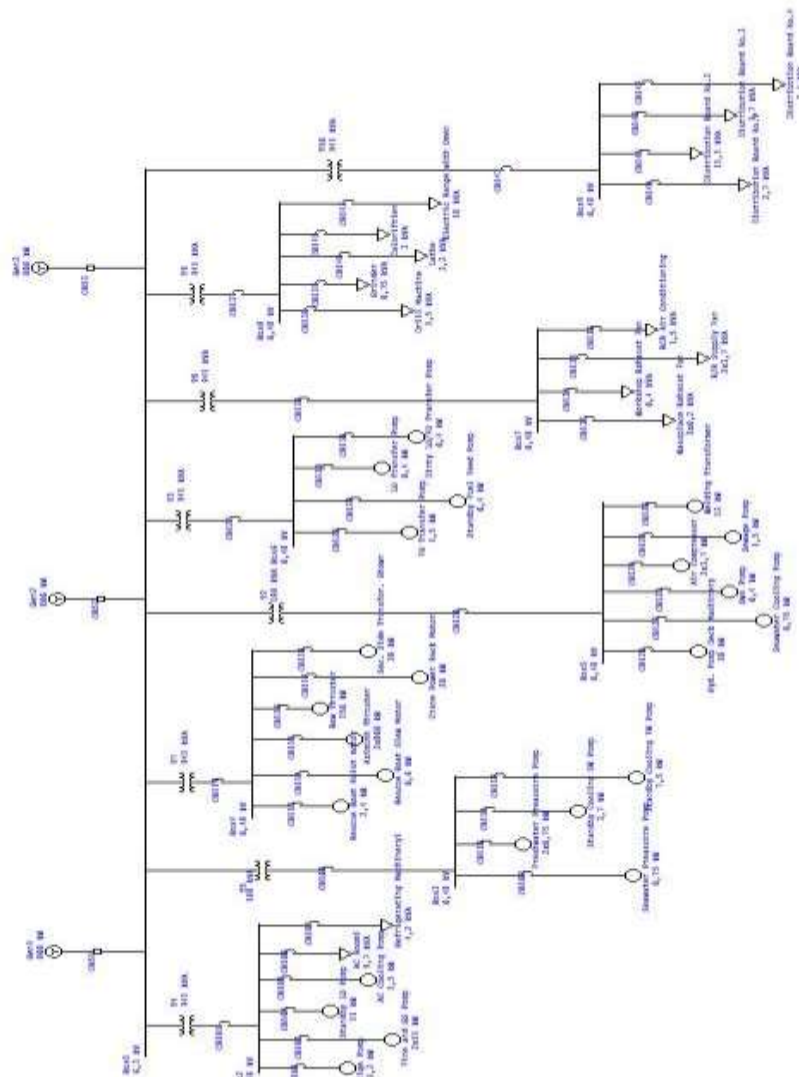
4.5. Oonline Diagram

Pembuatan oneline diagram dibuat berdasarkan masing-masing generator. *Oonline diagram* ini dimaksudkan untuk mensimulasikan *load flow* dan *short circuit analysis* pada masing-masing generator. Pada pembuatan *online diagram* dilakukan pada saat kapal dalam kondisi berlayar, manouvering, dan bongkar muat.



Gambar 4.3. Oonline Diagram¹⁸

¹⁸ Gambar oneline diagram generator bertegangan rendah



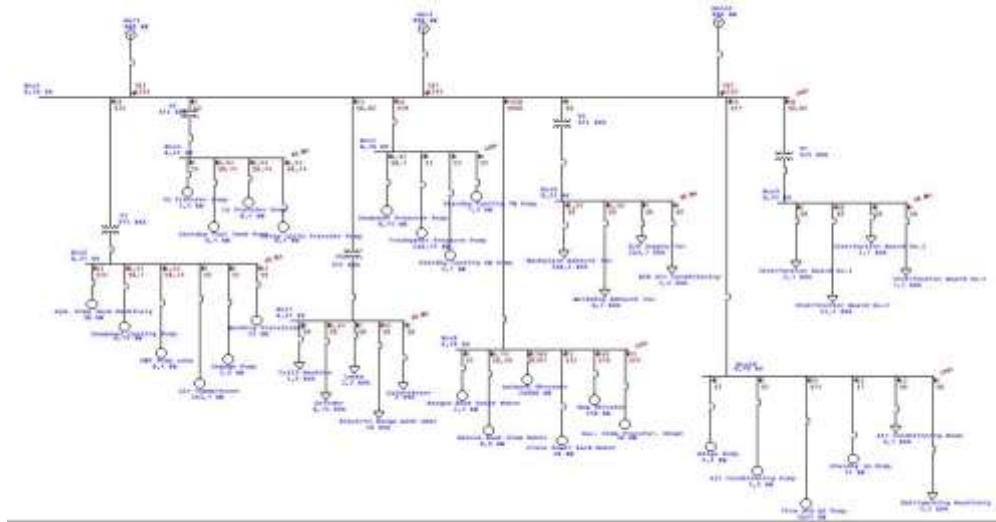
Gambar 4.4. Oneline Diagram (2)¹⁹

4.6. Simulasi Load Flow Analysis

Dengan sudah adanya oneline diagram pada masing-masing generator barulah dapat dilakukannya simulasi *load flow* dan *short circuit analysis*. Untuk simulasi yang pertama kita menggunakan simulasi *load flow analysis* terlebih dahulu. Simulasi *load flow analysis* dilakukan untuk melihat perbedaan pada nilai arus dan daya antara generator bertegangan rendah dengan generator bertegangan menengah. Hasil yang diharapkan dari simulasi *load flow analysis* adalah nilai daya yang lebih besar dari generator bertegangan menengah terhadap generator bertegangan rendah dan nilai arus

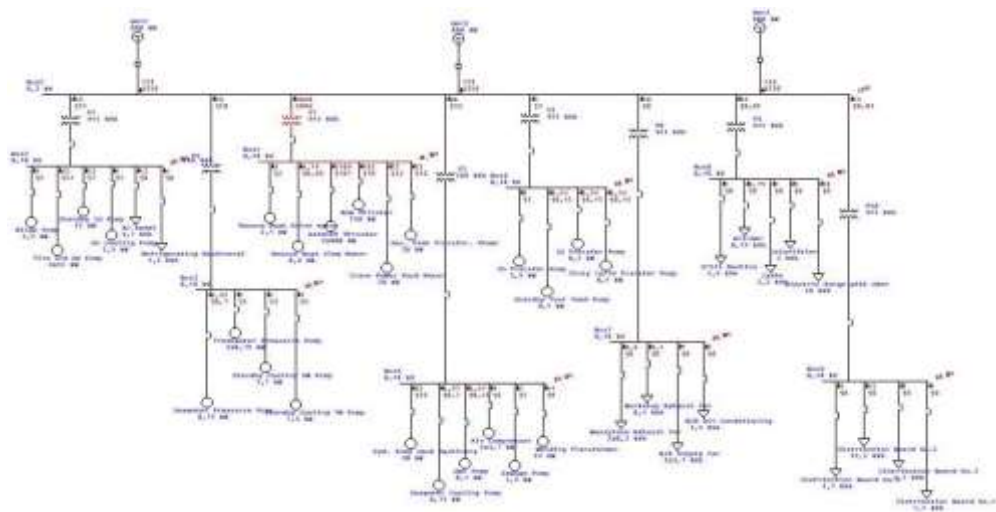
¹⁹ Gambar oneline diagram generator bertegangan menengah

yang lebih kecil dari generator bertegangan menengah terhadap generator bertegangan rendah. Jika hasilnya sesuai berarti generator bertegangan menengah lebih efisien jika dipakai oleh kapal MV. SAM PROSFER I. Gambar 4.5. dan 4.6. menggambarkan tentang simulasi *load flow analysis* dan hasil dari simulasi *load flow analysis* diterangkan pada tabel 4.3. dan 4.4.



Gambar 4.5. Load Flow Analysis²⁰

Gambar 4.5. menggambarkan pada saat dilakukanya simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah menggunakan software ETAP.



Gambar 4.6. Load Flow Analysis (2)²¹

²⁰ Simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah

²¹ Simulasi load flow analysis generator bertegangan menengah

Gambar 4.6. menggambarkan pada saat dilakukanya simulasi *load flow analysis* generator bertegangan menengah menggunakan software ETAP.

Tabel 4.3. Hasil Simulasi Load Flow Analysis²²

Equipment	kW	Ampere
Bus 1	3	5,2
FO Transfer Pump	2	9,5
Standby ME Fuel Feed Pump	0,54	2,8
LO Transfer Pump	0,54	2,8
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,54	2,8
Bus 2	9	10,6
Washplace Exhaust Fan	0,54	2,2
Workshop Exhaust Fan	0,36	1,5
E/R Supply Fan	7	27,5
ECR Air Conditioning	1	5,6
Bus 3	16	22,9
Seawater Preassure Pump	0,97	0,75
Freshwater Preassure Pump	2	2,9
Standby ME Cooling SW Pump	4	6,3
Standby ME Cooling FW Pump	9	12,2
Bus 4	20	24,6
Distribution Board No.1	2	10,2
Distribution Board No.2	10	41,1
Distribution Board No.3	1	6,2
Distribution Board No.4	7	27,7
Bus 5	23	27,3
Drill Machine	1	5,6
Grinder	0,67	2,8
Lathe	2	8,2
Caloriftier	3	11,2
Electric Range With Oven	16	66,9
Bus 6	59	81,2
Hyd. Pump For Deck Machinery	33	154,4
Sea Water Cooling Pump	0,97	5
OWS Service Pump	0,54	2,8
Main Air Compressor	9	76,2
Sewage Pump	2	9,5
Welding Transformer	14	65,7

²² Hasil simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah

Tabel 4.3. Hasil Simulasi Load Flow Analysis (Lanjutan)²³

Equipment	kW	Ampere
Bus 7	59	77
Bilge Pump	3	3,9
Fire and GS Pump	25	34,9
Standby ME LO Pump	13	17,5
Air Conditioning Cooling Pump	2	2,7
Air Conditioning A/C Room	12	13,9
Refrigerating Machinery	5	6
Bus 8	707	920
Bus 9	1930	2516,9
Rescue Boat Boom Hoist Motor	3	4,2
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,79	1,2
Azimuth Thruster	1709	2224,7
Bow Thruster Motor Starter	162	212,1
Crane Power Pack Motor	23	30,5
Sec. Side Of Transfor. Shown	33	44,5

Tabel 4.4. Hasil Simulasi Load Flow Analysis (2)²⁴

Equipment	kW	Ampere
Bus 1	739	73,7
Bus 2	59	5,9
Bilge Pump	3	3,9
Fire and GS Pump	25	35
Standby ME LO Pump	13	17,5
Air Conditioning Cooling Pump	2	2,7
Air Conditioning A/C Room	12	13,9
Refrigerating Machinery	5	6
Bus 3	16	1,7
Seawater Preassure Pump	0,97	1,5
Freshwater Preassure Pump	2	2,9
Standby ME Cooling SW Pump	4	6,4
Standby ME Cooling FW Pump	9	12,3

²³ Hasil simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah

²⁴ Hasil simulasi load flow analysis generator bertegangan menengah

Tabel 4.4. Hasil Simulasi Load Flow Analysis (2) (Lanjutan)²⁵

Bus 4	2020	202,1
Rescue Boat Boom Hoist Motor	3	4,5
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,79	1,2
Azimuth Thruster	1709	2344,9
Bow Thruster Motor Starter	162	223,6
Crane Power Pack Motor	23	32,1
Sec. Side Of Transfor. Shown	33	46,9
Bus 5	60	6,2
Hyd. Pump For Deck Machinery	33	134,6
Sea Water Cooling Pump	0,97	4,4
OWS Service Pump	0,54	2,4
Main Air Compressor	9	38,3
Sewage Pump	2	8,3
Welding Transformer	14	57,3
Bus 6	3	0,4
FO Transfer Pump	2	8,2
Standby ME Fuel Feed Pump	0,54	2,4
LO Transfer Pump	0,54	2,4
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,54	2,4
Bus 7	10	0,9
Washplace Exhaust Fan	0,6	2,2
Workshop Exhaust Fan	0,4	1,4
E/R Supply Fan	7	26,7
ECR Air Conditioning	2	5,4
Bus 8	25	2,3
Drill Machine	1	5,4
Grinder	0,75	2,7
Lathe	2	7,9
Caloriftier	3	10,8
Electric Range With Oven	18	65
Bus 9	23	2,1
Distribution Board No.1	3	9,7
Distribution Board No.2	11	40,1
Distribution Board No.3	2	6,1
Distribution Board No.4	7	15,4

²⁵ Hasil simulasi load flow analysis generator bertegangan menengah

4.7. Simulasi *Short Circuit Analysis*

Dari hasil simulasi arus hubung singkat (*short circuit*) pada software ETAP, didapatkan nilai arus hubung singkat pada kondisi berlayar, *manouvering*, dan bongkar muat. Penentuan posisi gangguan arus hubung singkat berdasarkan *oneline diagram* terletak pada bus utama yang terhubung pada genetator utama. Lalu dilakukan perbandingan nilai tersebut pada ketiga kondisi operasional di kapal.

4.7.1. Kondisi Berlayar Generator Tegangan Rendah

Tabel 4.5. Hasil Simulasi *Short Circuit Analysis*²⁶

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,142
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,008
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,015
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,003
Azimuth Thruster	15,87
Bow Thruster Motor Starter	-
Crane Power Pack Motor	-
Sec. Side Of Transfor. Shown	0,186
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,368
Sea Water Cooling Pump	0,008
OWS Service Pump	0,003
Main Air Compressor	0,278
Sewage Pump	0,017
Welding Transformer	0,128
FO Transfer Pump	0,015
Standby ME Fuel Feed Pump	0,003

²⁶ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi sailing pada main bus/bus 1

Tabel 4.5. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (Lanjutan)²⁷

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
LO Transfer Pump	0,003
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,003
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-
ECR Air Conditioning	-
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Calorifier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

4.7.2. Kondisi Manouvering Generator Tegangan Rendah

Tabel 4.6. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (2)²⁸

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,142
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,008
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,015
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,003

²⁷ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi sailing pada main bus/bus 1

²⁸ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi manouvering pada main bus/bus 1

Tabel 4.6. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (2) (Lanjutan)²⁹

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Azimuth Thruster	15,87
Bow Thruster Motor Starter	1,26
Crane Power Pack Motor	-
Sec. Side Of Transfor. Shown	0,186
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,368
Sea Water Cooling Pump	0,008
OWS Service Pump	0,003
Main Air Compressor	0,278
Sewage Pump	0,017
Welding Transformer	0,128
FO Transfer Pump	0,015
Standby ME Fuel Feed Pump	0,003
LO Transfer Pump	0,003
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,003
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-
ECR Air Conditioning	-
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Caloriftier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

²⁹ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi manouvering pada main bus/bus 1

4.7.3. Kondisi Bongkar Muat Generator Tegangan Rendah

Tabel 4.7. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (3)³⁰

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,142
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,008
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,015
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,003
Azimuth Thruster	15,87
Bow Thruster Motor Starter	1,26
Crane Power Pack Motor	0,126
Sec. Side Of Transfor. Shown	0,186
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,368
Sea Water Cooling Pump	0,008
OWS Service Pump	0,003
Main Air Compressor	0,278
Sewage Pump	0,017
Welding Transformer	0,128
FO Transfer Pump	0,015
Standby ME Fuel Feed Pump	0,003
LO Transfer Pump	0,003
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,003
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-
ECR Air Conditioning	-

³⁰ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi bongkar muat pada main bus/bus 1

Tabel 4.7. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (3) (Lanjutan)³¹

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Caloriftier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

4.7.4. Kondisi Berlayar Generator Tegangan Menengah

Tabel 4.8. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (4)³²

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,141
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,007
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,012
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,002
Azimuth Thruster	12,5
Bow Thruster Motor Starter	-
Crane Power Pack Motor	-
Sec. Side Of Transfor. Shown	0,147
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,439
Sea Water Cooling Pump	0,009

³¹ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah kondisi bongkar muat pada main bus/bus 1

³² Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi berlayar pada main bus/bus 1

Tabel 4.8. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (4) (Lanjutan)³³

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
OWS Service Pump	0,004
Main Air Compressor	0,111
Sewage Pump	0,02
Welding Transformer	0,182
FO Transfer Pump	0,022
Standby ME Fuel Feed Pump	0,004
LO Transfer Pump	0,004
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,004
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-
ECR Air Conditioning	-
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Caloriftier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

4.7.5. Kondisi Manouvering Generator Tegangan Menengah

Tabel 4.9. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (5)³⁴

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,141
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-

³³ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi berlayar pada main bus/bus 1

³⁴ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi manouvering pada main bus/bus 1

Tabel 4.9. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (5) (Lanjutan)³⁵

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,007
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,012
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,002
Azimuth Thruster	12,5
Bow Thruster Motor Starter	0,99
Crane Power Pack Motor	-
Sec. Side Of Transfor. Shown	0,147
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,439
Sea Water Cooling Pump	0,009
OWS Service Pump	0,004
Main Air Compressor	0,111
Sewage Pump	0,02
Welding Transformer	0,182
FO Transfer Pump	0,022
Standby ME Fuel Feed Pump	0,004
LO Transfer Pump	0,004
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,004
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-
ECR Air Conditioning	-
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Caloriftier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

³⁵ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi manouvering pada main bus/bus 1

4.7.6. Kondisi Bongkar Muat Generator Tegangan Menengah

Tabel 4.10. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (6)³⁶

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
Bilge Pump	0,13
Fire and GS Pump	0,141
Standby ME LO Pump	0,71
Air Conditioning Cooling Pump	0,009
Air Conditioning A/C Room	-
Refrigerating Machinery	-
Seawater Preassure Pump	0,004
Freshwater Preassure Pump	0,007
Standby ME Cooling SW Pump	0,023
Standby ME Cooling FW Pump	0,48
Rescue Boat Boom Hoist Motor	0,012
Rescue Boat Boom Slew Motor	0,002
Azimuth Thruster	12,48
Bow Thruster Motor Starter	0,988
Crane Power Pack Motor	0,99
Sec. Side Of Transfor. Shown	
Hyd. Pump For Deck Machinery	0,439
Sea Water Cooling Pump	0,009
OWS Service Pump	0,004
Main Air Compressor	0,111
Sewage Pump	0,02
Welding Transformer	0,182
FO Transfer Pump	0,022
Standby ME Fuel Feed Pump	0,004
LO Transfer Pump	0,004
Dirty LO/FO Transfer Pump	0,004
Washplace Exhaust Fan	-
Workshop Exhaust Fan	-
E/R Supply Fan	-

³⁶ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi bongkar muat pada main bus/bus 1

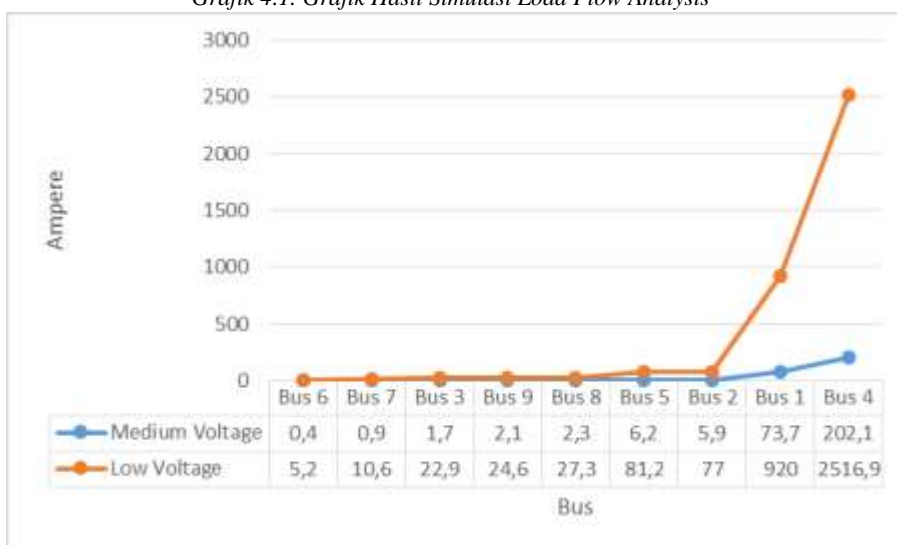
Tabel 4.10. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (6) (Lanjutan)³⁷

Fault : Main Bus / Bus 1	
Equipment	Short Circuit (kA)
ECR Air Conditioning	-
Drill Machine	-
Grinder	-
Lathe	-
Caloriftier	-
Electric Range With Oven	-
Distribution Board No.1	-
Distribution Board No.2	-
Distribution Board No.3	-
Distribution Board No.4	-

4.8. Analisa Hasil Simulasi Load Flow Analysis

Setelah mendapatkan hasil yang dilakukan saat simulasi *load flow analysis*, selanjutnya melakukan analisa terhadap hasil yang di dapat pada saat simulasi. Hasil simulasi *load flow analysis* terdapat pada tabel 4.3. yang menunjukkan hasil dari generator bertegangan rendah dan tabel 4.4. yang menunjukkan hasil dari generator bertegangan menengah.

Grafik 4.1. Grafik Hasil Simulasi Load Flow Analysis³⁸

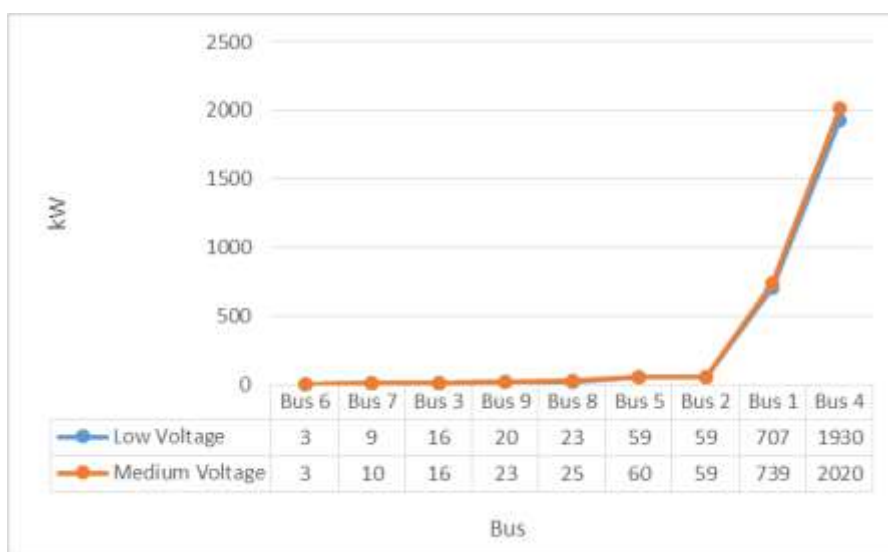


³⁷ Hasil simulasi short circuit analysis generator bertegangan menengah kondisi bongkar muat pada main bus/bus 1

³⁸ Grafik nilai arus dari simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah

Dilihat dari hasil simulasi *load flow analysis* pada masing masing generator, untuk nilai arus yang dihasilkan pada generator bertegangan rendah lebih besar dari pada nilai arus yang dihasilkan oleh generator bertegangan menengah. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada, yaitu apabila tegangan rendah maka arus akan semakin besar dan sebaliknya. Perbedaan yang sangat jelas ditunjukkan pada bus 4 karena daya yang paling besar dihasilkan ada pada bus 4 yaitu sekitar 2300 Ampere. Sementara itu bus 6 yang memiliki daya yang paling rendah memiliki perbedaan tidak terlalu jauh, sekitar 4,8 Ampere. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik 4.1.

Nilai arus yang dianalisa adalah nilai arus pada setiap bus yang ada pada generator. Jadi untuk sumbu X pada grafik menerangkan bus pada generator dan untuk sumbu Y menerangkan nilai arus yang ada pada setiap bus di masing masing generator. Dalam simulasi *load flow analysis* ini hanya membandingkan nilai arus pada setiap bus, hal ini dikarenakan saat menggunakan generator bertegangan menengah yang dihubungkan pada setiap peralatan, masih menggunakan transformator untuk menurunkan tegangan. Penambahan transformator ini dilakukan karena spesifikasi peralatan pada kapal MV. SAM PROSFER I untuk motor 3 (tiga) phase hanya 440 Volt dan untuk motor 1 (satu) phase hanya 220 Volt. Jadi untuk perbedaan yang ada pada setiap peralatan hanya sedikit atau hampir tidak ada.



Grafik 4.2. Grafik Hasil Simulasi Load Flow Analysis (2)³⁹

Grafik 4.2. menjelaskan tentang nilai daya yang dihasilkan dari simulasi *load flow analysis* antara generator bertegangan rendah dengan generator bertegangan menengah. Daya yang dihasilkan pada generator bertegangan rendah lebih kecil dari pada generator bertegangan menengah. Hal ini dikarenakan pada generator bertegangan menengah

³⁹ Grafik nilai daya dari simulasi load flow analysis generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah

memiliki arus yang lebih kecil dari generator bertegangan rendah. Dengan adanya arus yang lebih kecil, daya yang dihasilkan oleh generator akan semakin besar. Dari grafik 4.2 nilai daya yang dihasilkan oleh kedua generator terlihat tidak terlalu jauh perbedaannya. Untuk bus yang memiliki daya yang kecil seperti bus 6 tidak ada perbedaan daya yang di suplai oleh generator, namun pada bus 1 dan bus 4 terlihat bahwa generator bertegangan menengah mendistribusikan daya lebih besar dari generator bertegangan rendah hampir sekitar 100 kW.

4.9. Analisa Hasil Simulasi *Short Circuit Analysis*

Analisa simulasi *short circuit analysis* ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hubungan arus singkat yang terdapat pada setiap bus di masing masing generator. Hubungan arus singkat ini dapat merugikan apabila terjadi, karena hubungan arus singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, membahayakan keselamatan manusia, dan dapat memutuskan suplai tenaga listrik dari generator.

Simulasi *short circuit analysis* memakai 3 (tiga) kondisi pada masing-masing generator yaitu saat kondisi berlayar, *manouvering*, dan bongkar muat. Hasil dari simulasi *short circuit analysis* pada generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah saat kondisi berlayar dapat dilihat pada tabel 4.5. dan 4.8.. Untuk hasil dari simulasi *short circuit analysis* pada generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah saat kondisi *manouvering* dapat dilihat pada tabel 4.6. dan 4.9.. Sedangkan hasil dari simulasi *short circuit analysis* pada generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah saat kondisi bongkat muat dapat dilihat pada tabel 4.7. dan 4.10..

4.9.1.Short Circuit Analysis Kondisi Berlayar

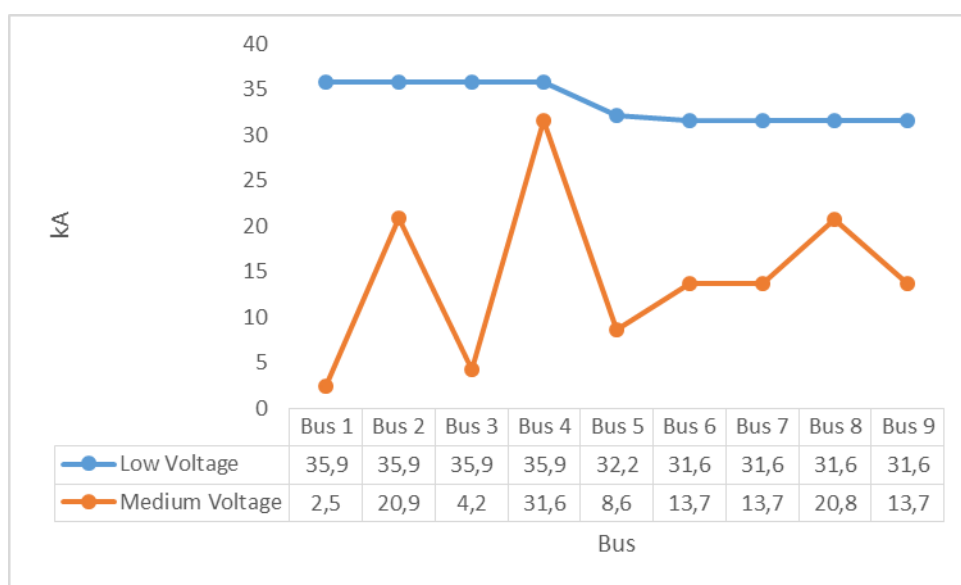


Grafik 4.3. Hasil Simulasi *Short Circuit Analysis*⁴⁰

⁴⁰ Grafik nilai arus hubungan singkat dari simulasi *short circuit analysis* generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah kondisi berlayar

Hasil dari simulasi *short circuit analysis* generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah pada saat kondisi berlayar ada pada grafik 4.3.. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai arus hubungan singkat pada generator bertegangan rendah lebih besar dari generator bertegangan menengah. Hal ini menunjukkan bahwa generator bertegangan menengah lebih aman apabila terjadi arus hubungan singkat. Untuk bus yang memiliki daya paling besar yaitu bus 4, perbedaan yang terjadi tidak terlalu jauh. seperti yang terlihat pada bus 1 memiliki perbedaan sekitar 32,2 kA.

4.9.2. Short Circuit Analysis Kondisi *Manouvering*

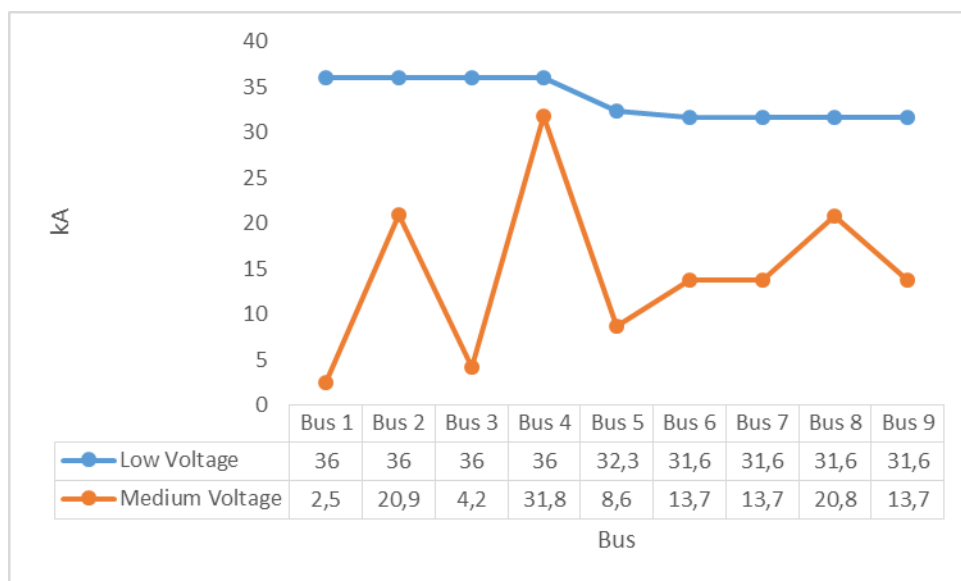


Grafik 4.4. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (2)⁴¹

Pada grafik 4.4. menunjukkan hasil dari simulasi *short circuit analysis* generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah saat kondisi *manouvering*. Saat kondisi *manouvering* nilai arus hubungan singkat yang dihasilkan lebih besar dari saat kondisi berlayar. Hal ini dikarenakan ada beberapa alat yang tidak beroperasi pada saat kondisi berlayar, jadi membuat daya yang dibutuhkan kapal untuk beroperasi lebih kecil dari saat kondisi *manouveering*. Nilai arus hubungan singkat pada generator bertegangan rendah kondisi berlayar hampir sama pada setiap bus, sedangkan pada genertator bertegangan menengah nilai arus hubungan singkat yang dihasilkan tergantung pada nilai daya yang ada di setiap bus. Nilai arus hubungan singkat generator bertegangan menengah yang paling besar berada pada bus 4 yaitu sebesar 31,6 kA dan yang terendah terdapat pada bus 1 sebesar 2,5 kA

⁴¹ Grafik nilai arus hubungan singkat dari simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah kondisi *manouvering*

4.9.3. Short Circuit Analysis Kondisi Bongkar Muat



Grafik 4.5. Hasil Simulasi Short Circuit Analysis (3)⁴²

Grafik 4.5. menjelaskan tentang hasil *short circuit* pada saat kapal dalam kondisi bongkar muat. *Short circuit analysis* kondisi bongkar muat membutuhkan semua peralatan dalam kondisi beroperasi, jadi nilai arus hubungan singkat yang diperoleh dalam simulasi *short circuit analysis* bongkar muat lebih besar dari saat kondisi berlayar maupun *manouvering*. Tetapi perbedaan peralatan pada kondisi berlayar dan *manouvering* terhadap bongkar muat hanya pada crane saja. Crane disini membutuhkan daya sebesar 20 kW, jadi perbedaan yang dihasilkan dari nilai arus hubungan singkat tidak terlalu jauh. Perubahan kondisi berlayar dan *manouvering* terhadap kondisi bongkar muat pada generator bertegangan rendah terdapat pada bus 1, bus 3, bus 5, bus 2, dan bus 4. Sedangkan perubahan pada kondisi berlayar dan *manouvering* terhadap kondisi bongkar muat pada generator bertegangan menengah terdapat hanya pada bus 4.

⁴² Grafik nilai arus hubungan singkat dari simulasi short circuit analysis generator bertegangan rendah dan generator bertegangan menengah kondisi bongkar muat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan kajian teknis pemilihan generator bertegangan menengah terhadap perubahan kapal tugboat menjadi *utility/supply vessel* menggunakan analisa *load flow* dan *short circuit*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh generator tegangan medium pada kapal MV. SAM PROSFER I terdapat pada nilai daya, arus, dan arus hubungan singkat.
 - a. Daya yang dihasilkan oleh generator tegangan rendah lebih kecil dari daya yang dihasilkan generator tegangan menengah
 - b. Arus yang dihasilkan oleh generator tegangan rendah lebih besar dari arus yang dihasilkan generator tegangan menengah
 - c. Arus hubungan singkat yang dihasilkan generator tegangan rendah lebih besar dari arus hubungan singkat yang dihasilkan oleh generator tegangan menengah.
2. Hasil yang didapatkan dari simulasi *load flow analysis* yaitu arus dan daya
 - a. Arus yang terbesar terdapat pada bus 4 generator tegangan rendah yaitu sebesar 2516,9 A dan arus yang terkecil terdapat pada bus 6 generator tegangan menengah yaitu sebesar 0,4 A
 - b. Daya yang terbesar terdapat pada bus 4 generator tegangan menengah yaitu sebesar 2020 kW dan daya yang terkecil terdapat pada bus 3 di kedua generator yaitu sebesar 3 kW
3. Simulasi *short circuit analysis* menggunakan 3 kondisi untuk simulasi yaitu pada saat kondisi berlayar, *manouvering*, dan bongkar muat
 - a. Pada saat kondisi berlayar arus hubungan singkat terbesar terdapat pada bus 1,2,3, dan 4 pada generator tegangan rendah yaitu 34,6 kA dan arus hubungan singkat yang terkecil terdapat pada bus 1 generator tegangan menengah yaitu 2,4 kA
 - b. Pada saat kondisi *manouvering* arus hubungan singkat terbesar terdapat pada bus 1,2,3, dan 4 pada generator tegangan rendah yaitu 35,9 kA dan arus hubungan singkat yang terkecil terdapat pada bus 1 generator tegangan menengah yaitu 2,5 kA
 - c. Pada saat kondisi bongkar muat arus hubungan singkat terbesar terdapat pada bus 1,2,3, dan 4 pada generator tegangan rendah yaitu 36 kA dan arus hubungan singkat yang terkecil terdapat pada bus 1 generator tegangan menengah yaitu 2,5 kA

5.2. Saran

Karena tugas akhir ini pembuatan awal dalam hal mengganti generator yang awalnya bertegangan rendah menjadi generator bertegangan menengah, diperlukanya sistem proteksi untuk melindungi tingginya voltase pada suatu peralatan listrik agar tidak menyebabkan radiasi yang berdampak pada manusia sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arwinas, D., 2001. *Petunjuk Penanganan Kapal dan Barang di Pelabuhan*. Jakarta: s.n.
2. Bahroinuddin, M., 2014. *Sistem Distribusi Kelistrikan Dunia Industri*.
3. Sudjatmiko, F., 1995. Dalam: *Pokok-Pokok Pelayaran Niaga Edisi Kedua*. Jakarta: Akademika Presindo, p. 64.
4. Arifsh, 2009. *Generator dan Motor AC*.
5. Biro Klasifikasi Indonesia, 2016. *Rule For Electrical Instalation*, Volume IV, BKI Jakarta
6. Cahyokrisma, 2010. *Pengertian Daya Arus dan Tegangan*.
7. Irwanto, 2010. *Analisa Kebutuhan Daya Listrik Untuk Penambahan Bow Thruster Akibat Perubahan Fungsi Kapal Dari Tug Boat Menjadi Utility/Supply Vessel*. FTK-ITS Surabaya.
8. Sarwito, Sardono, 1993. *Perhitungan Kapasitas Generator yang Optimum Di Kapal*. Surabaya: Lembaga Penelitian ITS.
9. Harrington, Roy L., 1977. *Society of Naval Architects and Marine Engineers*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA